

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Yukio TANIGUCHI, et al.

GAU:

SERIAL NO: New Application

EXAMINER:

FILED: Herewith

FOR: CRYSTALLIZATION APPARATUS, OPTICAL MEMBER FOR USE IN CRYSTALLIZATION APPARATUS, CRYSTALLIZATION METHOD, THIN FILM TRANSISTOR, AND DISPLAY

REQUEST FOR PRIORITY

COMMISSIONER FOR PATENTS  
ALEXANDRIA, VIRGINIA 22313

SIR:

- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Application Serial Number , filed , is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.
- ☐ Full benefit of the filing date(s) of U.S. Provisional Application(s) is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e): Application No. Date Filed
- ☒ Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119, as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

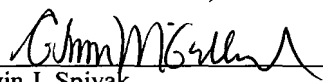
<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NUMBER</u>	<u>MONTH/DAY/YEAR</u>
Japan	2002-188845	June 28, 2002

Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

- ☒ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee
- ☐ were filed in prior application Serial No. filed
- ☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number  
Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.
- ☐ (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. filed ; and
- ☐ (B) Application Serial No.(s)
- ☐ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,  
MAIER & NEUSTADT, P.C.

  
Marvin J. Spivak

Registration No. 24,913

C. Irvin McClelland  
Registration Number 21,124



22850

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日  
Date of Application:

2002年 6月28日

出 願 番 号  
Application Number:

特願2002-188845

[ ST.10/C ]:

[ JP 2002-188845 ]

出 願 人  
Applicant(s):

株式会社 液晶先端技術開発センター

2003年 6月18日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3047407

【書類名】 特許願

【整理番号】 YJ-034

【あて先】 特許庁長官殿

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地 株式会社液晶  
先端技術開発センター内

【氏名】 谷口 幸夫

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地 株式会社液晶  
先端技術開発センター内

【氏名】 松村 正清

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地 株式会社液晶  
先端技術開発センター内

【氏名】 山口 弘高

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地 株式会社液晶  
先端技術開発センター内

【氏名】 西谷 幹彦

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地 株式会社液晶  
先端技術開発センター内

【氏名】 辻川 晋

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地 株式会社液晶  
先端技術開発センター内

【氏名】 木村 嘉伸

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地 株式会社液晶

先端技術開発センター内

【氏名】 十文字 正之

【特許出願人】

【識別番号】 501286657

【氏名又は名称】 株式会社液晶先端技術開発センター

【代理人】

【識別番号】 100095256

【弁理士】

【氏名又は名称】 山口 孝雄

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 033020

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0207610

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 結晶化装置および結晶化方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 位相シフトマスクを照明する照明系を備え、前記位相シフトマスクの位相シフト部に対応する点において光強度の最も小さい逆ピークパターンの光強度分布を有する光を多結晶半導体膜または非晶質半導体膜に照射して結晶化半導体膜を生成する結晶化装置において、

前記照明系と前記位相シフトマスクとの間の光路中に配置されて、前記照明系から供給された光を、前記位相シフト部またはその近傍において光強度が最も小さく且つその周囲に向かって光強度が増加する凹型パターンの光強度分布を有する光に変換して前記位相シフトマスクに照射するための光変換素子を備えていることを特徴とする結晶化装置。

【請求項 2】 前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜と前記位相シフトマスクとは互いにほぼ平行に且つ近接して配置されていることを特徴とする請求項 1 に記載の結晶化装置。

【請求項 3】 前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜と前記位相シフトマスクとの間の光路中に配置された結像光学系をさらに備え、

前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜は、前記位相シフトマスクと光学的に共役な面から前記結像光学系の光軸に沿って所定距離だけ離れて設定されていることを特徴とする請求項 1 に記載の結晶化装置。

【請求項 4】 前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜と前記位相シフトマスクとの間の光路中に配置された結像光学系をさらに備え、

前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜は、前記位相シフトマスクと光学的にほぼ共役な面に設定され、

前記結像光学系の像側開口数は、前記逆ピークパターンの光強度分布を発生させるための所要の値に設定されていることを特徴とする請求項 1 に記載の結晶化装置。

【請求項 5】 前記光変換素子は、前記位相シフト部において光束が発散されて照明される領域と前記位相シフト部の周囲において光束が集光されて照明さ

れる領域とを生成する集光発散素子であることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の結晶化装置。

【請求項 6】 前記集光発散素子は、光束を発散させるための発散屈折面と光束を集光させるための集光屈折面とを有することを特徴とする請求項 5 に記載の結晶化装置。

【請求項 7】 前記発散屈折面および前記集光屈折面は、所定の方

向に沿って一次元的に屈折機能を有することを特徴とする請求項 6 に記載の結晶化装置。

【請求項 8】 前記発散屈折面および前記集光屈折面は、2 つの方

向に沿って二次元的に屈折機能を有することを特徴とする請求項 6 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の結晶化装置。

【請求項 9】 前記発散屈折面と前記集光屈折面とは、全体的に正弦波形状の屈折面を形成していることを特徴とする請求項 6 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の結晶化装置。

【請求項 10】 前記全体的に正弦波形状の屈折面は、連続的な曲面形状に形成されていることを特徴とする請求項 9 に記載の結晶化装置。

【請求項 11】 前記全体的に正弦波形状の屈折面は、段差形状に形成されていることを特徴とする請求項 9 に記載の結晶化装置。

【請求項 12】 前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜に照射される光強度分布は、前記位相シフトマスクの位相シフト部に対応する点において光強度の最も小さい逆ピークパターン領域と、該逆ピークパターン領域から周囲に向

かって光強度が増加する凹型パターン領域とを有し、前記逆ピークパターン領域と前記凹型パターン領域との間において周囲に向かって傾きが減じる変曲点を有することを特徴とする請求項 1 乃至 11 のいずれか 1 項に記載の結晶化装置。

【請求項 13】 一体的に形成された前記光変換素子と前記位相シフトマスクとは、光の入射方向から順に、前記光変換素子の入射面、前記光変換素子と前記位相シフトマスクとの界面、および前記位相シフトマスクの位相シフト面を有することを特徴とする請求項 13 に記載の結晶化装置。

【請求項 1 5】 請求項 1 乃至 1 4 のいずれか 1 項に記載の前記光変換素子と前記位相シフトマスクとが一体的に形成されていることを特徴とする光学部材。

【請求項 1 6】 位相シフトマスクを照明し、前記位相シフトマスクの位相シフト部に対応する点において光強度の最も小さい逆ピークパターンの光強度分布を有する光を多結晶半導体膜または非晶質半導体膜に照射して結晶化半導体膜を生成する結晶化方法において、

前記位相シフト部またはその近傍において光強度が最も小さく且つその周囲に向かって光強度が増加する凹型パターンの光強度分布を有する光を前記位相シフトマスクに照射することを特徴とする結晶化方法。

【請求項 1 7】 前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜と前記位相シフトマスクとを互いにほぼ平行に且つ近接して配置することを特徴とする請求項 1 6 に記載の結晶化方法。

【請求項 1 8】 前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜と前記位相シフトマスクとの間の光路中に結像光学系を配置し、

前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜を前記位相シフトマスクと光学的に共役な面から前記結像光学系の光軸に沿って所定距離だけ離れて設定することを特徴とする請求項 1 6 に記載の結晶化方法。

【請求項 1 9】 前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜と前記位相シフトマスクとの間の光路中に結像光学系を配置し、

前記結像光学系の像側開口数を前記逆ピークパターンの光強度分布を発生させるための所要の値に設定し、

前記位相シフトマスクと光学的にほぼ共役な面に前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜を設定することを特徴とする請求項 1 6 に記載の結晶化方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、結晶化装置および結晶化方法に関する。特に、本発明は、位相シフトマスクを用いて位相変調されたレーザ光を多結晶半導体膜または非晶質半導体

膜に照射して結晶化半導体膜を生成する装置および方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

従来、たとえば液晶表示装置 (Liquid-Crystal-Display: LCD) の画素に印加する電圧を制御するスイッチング素子などに用いられる薄膜トランジスタ (Thin-Film-Transistor: TFT) の材料は、非晶質シリコン (amorphous-Silicon) と多結晶シリコン (poly-Silicon) とに大別される。

【0003】

多結晶シリコンは、非晶質シリコンよりも電子移動度が高い。したがって、多結晶シリコンを用いてトランジスタを形成した場合、非晶質シリコンを用いる場合よりも、スイッチング速度が速くなり、ひいてはディスプレイの応答が速くなり、他の部品の設計マージンを減らせるなどの利点がある。また、ディスプレイ本体以外にドライバ回路やDACなどの周辺回路をディスプレイに組み入れる場合に、それらの周辺回路をより高速に動作させることができる。

【0004】

多結晶シリコンは結晶粒の集合からなるが、結晶シリコンに比べると電子移動度が低い。また、多結晶シリコンを用いて形成した小型のトランジスタでは、チャネル部における結晶粒界数のバラツキが問題となる。そこで、最近、電子移動度を向上させ且つチャネル部における結晶粒界数のバラツキを少なくするために、大粒径の多結晶シリコンを生成する結晶化方法が提案されている。

【0005】

従来、この種の結晶化方法として、多結晶半導体膜または非晶質半導体膜と平行に近接させた位相シフトマスクにエキシマレーザー光を照射して結晶化半導体膜を生成する「位相制御ELA (Excimer Laser Annealing)」が知られている。位相制御ELAの詳細は、たとえば「表面科学Vol.21, No.5, pp.278-287, 2000」に開示されている。

【0006】

位相制御ELAでは、位相シフトマスクの位相シフト部に対応する点において光強度がほぼ0の逆ピークパターン（中心において光強度がほぼ0で周囲に向か



って光強度が急激に増大するパターン)の光強度分布を発生させ、この逆ピークパターンの光強度分布を有する光を多結晶半導体膜または非晶質半導体膜に照射する。その結果、光強度分布に応じて溶融領域が生じ、光強度がほぼ0の点に対応して溶けない部分または最初に凝固する部分に結晶核が形成され、その結晶核から周囲に向かって結晶が横方向に成長(ラテラル成長)することにより大粒径の結晶が生成される。

## 【0007】

## 【発明が解決しようとする課題】

上述したように、従来技術では、位相シフト部に対応する点において光強度がほぼ0の逆ピークパターンの光強度分布を有する光を半導体膜に照射し、その光強度分布において光強度がほぼ0の点に対応した部分に結晶核が形成されるので、結晶核の形成位置の制御が可能である。しかしながら、互いに隣接する2つの位相シフト部に対応して形成される2つの隣接した逆ピークパターンの間の中間部における光強度分布の制御を行うことは不可能である。

## 【0008】

実際に、従来技術では、中間部における光強度分布は不規則なうねり(光強度の増大と減少とを繰り返すような波状分布)を伴うのが一般的である。この場合、結晶化のプロセスにおいて、結晶核から周囲に向かって開始したラテラル成長が、中間部において光強度が減少する部分で停止してしまい、大きな結晶の成長が妨げられるという不都合があった。また、仮に中間部においてほぼ一様な光強度分布が得られたとしても、この一様な光強度分布の任意の位置でラテラル成長が停止してしまい、大きな結晶の成長が妨げられるという不都合があった。

## 【0009】

本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、結晶核からの十分なラテラル成長を実現して大粒径の結晶化半導体膜を生成することのできる結晶化装置および結晶化方法を提供することを目的とする。

## 【0010】

## 【課題を解決するための手段】

前記課題を解決するために、本発明の第1発明では、位相シフトマスクを照明

する照明系を備え、前記位相シフトマスクの位相シフト部に対応する点において光強度の最も小さい逆ピークパターンの光強度分布を有する光を多結晶半導体膜または非晶質半導体膜に照射して結晶化半導体膜を生成する結晶化装置において、前記照明系と前記位相シフトマスクとの間の光路中に配置されて、前記照明系から供給された光を、前記位相シフト部またはその近傍において光強度が最も小さく且つその周囲に向かって光強度が増加する凹型パターンの光強度分布を有する光に変換して前記位相シフトマスクに照射するための光変換素子を備えていることを特徴とする結晶化装置を提供する。

## 【 0 0 1 1 】

第 1 発明の好ましい態様によれば、前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜と前記位相シフトマスクとは互いにほぼ平行に且つ近接して配置されている。あるいは、前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜と前記位相シフトマスクとの間の光路中に配置された結像光学系をさらに備え、前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜は、前記位相シフトマスクと光学的に共役な面から前記結像光学系の光軸に沿って所定距離だけ離れて設定されている。あるいは、前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜と前記位相シフトマスクとの間の光路中に配置された結像光学系をさらに備え、前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜は、前記位相シフトマスクと光学的にほぼ共役な面に設定され、前記結像光学系の像側開口数は、前記逆ピークパターンの光強度分布を発生させるための所要の値に設定されている。

## 【 0 0 1 2 】

また、第 1 発明の好ましい態様によれば、前記光変換素子は、前記位相シフト部において光束が発散されて照明される領域と前記位相シフト部の周囲において光束が集光されて照明される領域とを生成する集光発散素子である。この場合、前記集光発散素子は、光束を発散させるための発散屈折面と光束を集光させるための集光屈折面とを有することが好ましい。また、この場合、前記発散屈折面および前記集光屈折面は、所定方向に沿って一次元的に屈折機能を有するか、あるいは 2 つの方向に沿って二次元的に屈折機能を有することが好ましい。

## 【 0 0 1 3 】

本発明の第2発明では、位相シフトマスクを照明し、前記位相シフトマスクの位相シフト部に対応する点において光強度の最も小さい逆ピークパターンの光強度分布を有する光を多結晶半導体膜または非晶質半導体膜に照射して結晶化半導体膜を生成する結晶化方法において、前記位相シフト部またはその近傍において光強度が最も小さく且つその周囲に向かって光強度が増加する凹型パターンの光強度分布を有する光を前記位相シフトマスクに照射することを特徴とする結晶化方法を提供する。

## 【0014】

第2発明の好ましい態様によれば、前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜と前記位相シフトマスクとを互いにほぼ平行に且つ近接して配置する。あるいは、前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜と前記位相シフトマスクとの間の光路中に結像光学系を配置し、前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜を前記位相シフトマスクと光学的に共役な面から前記結像光学系の光軸に沿って所定距離だけ離れて設定する。あるいは、前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜と前記位相シフトマスクとの間の光路中に結像光学系を配置し、前記結像光学系の像側開口数を前記逆ピークパターンの光強度分布を発生させるための所要の値に設定し、前記位相シフトマスクと光学的にほぼ共役な面に前記多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜を設定する。

## 【0015】

## 【発明の実施の形態】

本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。

図1は、本発明の第1実施形態にかかる結晶化装置の構成を概略的に示す図である。第1実施形態の結晶化装置は、位相シフトマスク1を照明する照明系2を備えている。照明系2は、たとえば248nmの波長を有する光を供給するKrFエキシマレーザ光源2aを備えている。なお、光源2aとして、XeClエキシマレーザ光源のような他の適当な光源を用いることもできる。光源2aから供給されたレーザ光は、ビームエキスパンダ2bを介して拡大された後、第1フライアイレンズ2cに入射する。

## 【0016】

こうして、第1フライアイレンズ2cの後側焦点面には複数の光源が形成され、これらの複数の光源からの光束は第1コンデンサー光学系2dを介して、第2フライアイレンズ2eの入射面を重疊的に照明する。その結果、第2フライアイレンズ2eの後側焦点面には、第1フライアイレンズ2cの後側焦点面よりも多くの複数の光源が形成される。第2フライアイレンズ2eの後側焦点面に形成された複数の光源からの光束は、第2コンデンサー光学系2fを介して、位相シフトマスク1を重疊的に照明する。

## 【0017】

ここで、第1フライアイレンズ2cおよび第1コンデンサー光学系2dは第1ホモジナイザを構成し、この第1ホモジナイザにより位相シフトマスク1上での入射角度に関する均一化が図られる。また、第2フライアイレンズ2eおよび第2コンデンサー光学系2fは第2ホモジナイザを構成し、この第2ホモジナイザにより位相シフトマスク1上での面内位置に関する均一化が図られる。したがって、照明系2と位相シフトマスク1との間の光路中には集光発散素子3が配置されているが、集光発散素子3が介在しない状態では照明系2はほぼ均一な光強度分布を有する光を位相シフトマスク1に照射する。

## 【0018】

位相シフトマスク1を介して位相変調されたレーザ光は、位相シフトマスク1と平行に且つ近接して配置された被処理基板4に照射される。ここで、被処理基板4は、たとえば液晶ディスプレイ用板ガラスの上に化学気相成長法により下地膜および非晶質シリコン膜を形成することにより得られる。換言すれば、位相シフトマスク1は、非晶質半導体膜と対向するように設定されている。被処理基板4は、真空チャックや静電チャックなどにより基板ステージ5上において所定の位置に保持されている。

## 【0019】

図2は、位相シフトマスクおよび集光発散素子の基本単位部分の構成を概略的に示す図である。図2(a)を参照すると、位相シフトマスク1の基本単位部分11は、4つの矩形状の領域11a~11dを有する。ここで、第1領域11aの透過光と第2領域11bの透過光との間には $\pi/2$ の位相差が付与され、第2

領域 1 1 b の透過光と第 3 領域 1 1 c の透過光との間にも  $\pi/2$  の位相差が付与され、第 3 領域 1 1 c の透過光と第 4 領域 1 1 d の透過光との間にも  $\pi/2$  の位相差が付与され、第 4 領域 1 1 d の透過光と第 1 領域 1 1 a の透過光との間にも  $\pi/2$  の位相差が付与されるように構成されている。

#### 【0 0 2 0】

具体的は、たとえば位相シフトマスク 1 が 2 4 8 n m の波長を有する光に対して 1. 5 の屈折率を有する石英ガラスで形成されている場合、第 1 領域 1 1 a と第 2 領域 1 1 b との間には 1 2 4 n m の段差が付与され、第 1 領域 1 1 a と第 3 領域 1 1 c との間には 2 4 8 n m の段差が付与され、第 1 領域 1 1 a と第 4 領域 1 1 d との間には 3 7 2 n m の段差が付与されている。なお、各領域の境界線である 4 つの位相シフト線の交点は、後述するように位相シフト部 1 1 e を構成する。位相シフトマスク 1 は、図 3 に示すように、基本単位部分 1 1 を二次元的に配置することにより構成されている。

#### 【0 0 2 1】

一方、集光発散素子 3 の基本単位部分 1 3 は、全体的に正弦波形状の屈折面 1 3 a を有する。この正弦波形状の屈折面 1 3 a は、図 2 ( a ) に示すように、x 方向に沿って一次的に屈折機能を有するように形成されている。そして、図 2 ( a ) の線 A - A に沿った断面図である図 2 ( b ) に示すように、正弦波形状の屈折面 1 3 a のうち、上に凸の形状を有する発散屈折面 1 3 b の中心が位相シフトマスク 1 の基本単位部分 1 1 の位相シフト部 1 1 e に対応して位置決めされている。そして、発散屈折面 1 3 b の両側に、下に凸の形状を有する集光屈折面 1 3 c が位置決めされている。

#### 【0 0 2 2】

こうして、集光発散素子 3 の基本単位部分 1 3 に入射した光のうち、発散屈折面 1 3 b が形成された領域を介した光は発散作用を受けて、位相シフト部 1 1 e を中心とする領域に達する。また、集光屈折面 1 3 c が形成された領域を介した光は集光作用を受けて、位相シフト部 1 1 e の x 方向に沿った両側に達する。集光発散素子 3 も、位相シフトマスク 1 と同様に、基本単位部分 1 3 を二次元的に配置することにより構成されている。

## 【 0 0 2 3 】

図4は、位相シフトマスクの作用を説明する図である。以下、照明系2と位相シフトマスク1との間の光路中に集光発散素子3が介在しない場合における位相シフトマスク1の基本的作用を説明する。この場合、位相シフトマスク1では、隣接する2つの領域の間の位相差が $\pi/2$ に設定されているので、位相シフト線に対応する位置では光強度が減少するが0にはならない。一方、位相シフト線の交点を中心とする円形領域の複素透過率の積分値が0になるように設定されているので、この交点すなわち位相シフト部11eに対応する位置では光強度がほぼ0になる。

## 【 0 0 2 4 】

その結果、被処理基板4上では、図4に示すように、位相シフトマスク1の位相シフト部11eに対応する点において光強度がほぼ0で且つ周囲に向かって急激に光強度が増加する逆ピークパターンの光強度分布が得られる。この逆ピークパターンの光強度分布は、 $xz$ 平面および $yz$ 平面の双方においてほぼ同じプロファイルを有する。なお、逆ピークパターンの幅寸法は、位相シフトマスク1と被処理基板4との距離（すなわちデフォーカス量）の $1/2$ 乗に比例して変化する。

## 【 0 0 2 5 】

前述したように、従来技術では、図4に示すような逆ピークパターンの光強度分布を有する光を半導体膜に照射していた。この場合、互いに隣接する2つの位相シフト部に対応して形成される2つの隣接した逆ピークパターンの間の中間部における光強度分布は不規則なうねりを伴っているので、光強度がほぼ0の点に対応したピーク部分に形成された結晶核から周囲に向かって開始したラテラル成長が中間部において光強度の減少する部分で停止してしまい、大きな結晶の成長が妨げられる。そこで、第1実施形態では、結晶核からの十分なラテラル成長を実現するために、照明系2と位相シフトマスク1との間の光路中に集光発散素子3を導入している。

## 【 0 0 2 6 】

図5は、集光発散素子の作用を説明する図である。上述したように、集光発散

素子 3 の基本単位部分 1 3 は、位相シフト部 1 1 e に対応して形成された発散屈折面 1 3 b とその両側に形成された集光屈折面 1 3 c とからなる全体的に正弦波形状の屈折面 1 3 a を有する。したがって、発散屈折面 1 3 b が形成された領域を介して発散作用を受けた光は位相シフト部 1 1 e を中心とする領域に達し、集光屈折面 1 3 c が形成された領域を介して集光作用を受けた光は位相シフト部 1 1 e の両側に達する。

#### 【 0 0 2 7 】

その結果、図 5 に示すように、位相シフトマスク 1 上では、その位相シフト部 1 1 e において光強度が最も小さく且つその周囲に向かって光強度が増加する凹型パターンの光強度分布が得られる。具体的には、発散屈折面 1 3 b の中心に対応する位置において光強度が最も小さく、集光屈折面 1 3 c の中心に対応する位置において光強度が最も大きいような凹型パターンの光強度分布が得られる。なお、この凹型パターンの光強度分布は、x z 平面において図 5 に示すような曲線状のプロファイルを有するが、y z 平面におけるプロファイルは一様である。

#### 【 0 0 2 8 】

図 6 は、集光発散素子と位相シフトマスクとの協働作用により被処理基板上で得られる光強度分布を説明する図である。上述したように、位相シフトマスク 1 は、均一な光強度分布を有する光に基づいて図 4 に示すような逆ピークパターンの光強度分布を有する光に変換して被処理基板 4 に（ひいては半導体膜に）照射する機能を有する。一方、集光発散素子 3 は、照明系 2 から供給された均一な光強度分布を有する光を、位相シフト部 1 1 e において光強度が最も小さく且つその周囲に向かって光強度が増加する凹型パターンの光強度分布を有する光に変換して位相シフトマスク 1 に照射する機能を有する。

#### 【 0 0 2 9 】

したがって、第 1 実施形態では、集光発散素子 3 と位相シフトマスク 1 との協働作用により、逆ピークパターンの光強度分布と凹型パターンの光強度分布との積で表される図 6 に示すような 2 段逆ピークパターンの光強度分布が被処理基板 4 の半導体膜上において得られる。図 6 に示す 2 段逆ピークパターンの光強度分布では、上述の逆ピークパターンに対応するように、位相シフト部 1 1 e に対応

する点において光強度がほぼ 0 で、その周囲に向かって放射状に急激に光強度が増加して所定の値に達する。その後、光強度は、上述の凹型パターンに対応するように、y 方向には変化することなく x 方向に沿ってのみほぼ単調に増加している。

#### 【 0 0 3 0 】

その結果、第 1 実施形態では、2 段逆ピークパターンの光強度分布において光強度がほぼ 0 の点（すなわち位相シフト部 11e に対応する点）に対応した部分に結晶核が形成される。次いで、結晶核から、光強度勾配（ひいては温度勾配）の大きい x 方向に沿って且つ周囲に向かってラテラル成長が開始される。このとき、2 段逆ピークパターンの光強度分布では、従来技術とは異なり中間部において光強度が減少する部分が実質的に存在しないので、ラテラル成長が途中で停止することなく大きな結晶の成長を実現することができる。

#### 【 0 0 3 1 】

こうして、第 1 実施形態では、結晶核からの十分なラテラル成長を実現して、大粒径の結晶化半導体膜を生成することができる。特に、生成された大粒径の結晶では、ラテラル成長の方向（x 方向）に高い電子移動度を有するので、ラテラル成長の方向にトランジスタのソースドレインを配置することにより、良好な特性のトランジスタを製造することができる。

#### 【 0 0 3 2 】

図 7 は、本発明の第 2 実施形態にかかる結晶化装置の構成を概略的に示す図である。第 2 実施形態は第 1 実施形態と類似の構成を有するが、第 2 実施形態では位相シフトマスク 1 と被処理基板 4 との間の光路中に結像光学系 6 を備えている点が第 1 実施形態と基本的に相違している。以下、第 1 実施形態との相違点に着目して、第 2 実施形態を説明する。なお、図 7 では、図面の明瞭化のために、照明系 2 の内部構成の図示を省略している。

#### 【 0 0 3 3 】

第 2 実施形態では、図 7 に示すように、被処理基板 4 は位相シフトマスク 1 と光学的に共役な面（結像光学系 6 の像面）から光軸に沿って所定距離だけ離れて設定されている。この場合、位相シフトマスク 1 の作用により被処理基板 4 の半



導体膜上に形成される逆ピークパターンの幅寸法は、結像光学系 6 の解像度が十分だとすると、結像光学系 6 の像面と被処理基板 4 との距離（すなわちデフォーカス量）の  $1/2$  乗に概ね比例して変化する。なお、結像光学系 6 は、屈折型の光学系であってもよいし、反射型の光学系であってもよいし、屈折反射型の光学系であってもよい。

## 【 0 0 3 4 】

第 2 実施形態においても第 1 実施形態と同様に、集光発散素子 3 と位相シフトマスク 1 との協働作用により 2 段逆ピークパターンの光強度分布が被処理基板 4 の半導体膜上に形成されるので、結晶核からの十分なラテラル成長を実現して大粒径の結晶化半導体膜を生成することができる。なお、第 1 実施形態では被処理基板 4 におけるアブレーションに起因して位相シフトマスク 1 が汚染され、ひいては良好な結晶化が妨げられることがある。これに対して、第 2 実施形態では、位相シフトマスク 1 と被処理基板 4 との間に結像光学系 6 が介在し且つ被処理基板 4 と結像光学系 6 との間隔も比較的大きく確保されているので、被処理基板 4 におけるアブレーションの影響を受けることなく良好な結晶化を実現することができる。

## 【 0 0 3 5 】

また、第 1 実施形態では、位相シフトマスク 1 と被処理基板 4 との間に設定すべき間隔が非常に小さい（たとえば数  $\mu\text{m}$  ～数百  $\mu\text{m}$ ）ので、位相シフトマスク 1 と被処理基板 4 との間の狭い光路中に位置検出のための検出光を導入することが困難であり、ひいては位相シフトマスク 1 と被処理基板 4 との間隔を調整することが困難である。これに対して、第 2 実施形態では、被処理基板 4 と結像光学系 6 との間隔が比較的大きく確保されているので、被処理基板 4 と結像光学系 6 との間の光路中に位置検出のための検出光を導入して、被処理基板 4 と結像光学系 6 との位置関係を調整することが容易である。

## 【 0 0 3 6 】

図 8 は、本発明の第 3 実施形態にかかる結晶化装置の構成を概略的に示す図である。第 3 実施形態は第 2 実施形態と類似の構成を有するが、第 3 実施形態では結像光学系 7 を介して位相シフトマスク 1 と被処理基板 4 とが光学的に共役に配

置されている点が第2実施形態と基本的に相違している。以下、第2実施形態との相違点に着目して、第3実施形態を説明する。なお、図8においても、図面の明瞭化のために、照明系2の内部構成の図示を省略している。

## 【0037】

第3実施形態では、結像光学系7は、その瞳面に配置された開口絞り7aを備えている。開口絞り7aは、開口部（光透過部）の大きさの異なる複数の開口絞りを有し、これらの複数の開口絞りは光路に対して交換可能に構成されている。あるいは、開口絞り7aは、開口部の大きさを連続的に変化させることのできる虹彩絞りを有する。いずれにしても、開口絞り7aの開口部の大きさ（ひいては結像光学系7の像側開口数）は、被処理基板4の半導体膜上において所要の逆ピークパターンの光強度分布を発生させるように設定されている。

## 【0038】

この場合、位相シフトマスク1の作用により被処理基板4の半導体膜上に形成される逆ピークパターンの幅寸法は、結像光学系7の解像度Rと同程度になる。結像光学系7の解像度Rは、使用光の波長を $\lambda$ とし、結像光学系7の像側開口数をNAとすると、 $R = k \lambda / NA$ で規定される。ここで、定数kは、位相シフトマスク1を照明する照明系2の仕様や、光源1から供給される光束のコヒーレンスの程度、解像度の定義にもよるが、ほぼ1に近い値である。このように、第3実施形態では、結像光学系7の像側開口数NAを小さくして、結像光学系7の解像を低下させると、逆ピークパターンの幅寸法が大きくなる。

## 【0039】

第3実施形態においても第1実施形態および第2実施形態と同様に、集光発散素子3と位相シフトマスク1との協働作用により2段逆ピークパターンの光強度分布が被処理基板4の半導体膜上に形成されるので、結晶核からの十分なラテラル成長を実現して大粒径の結晶化半導体膜を生成することができる。また、第3実施形態においても第2実施形態と同様に、被処理基板4におけるアブレーションの影響を受けることなく良好な結晶化を実現することができるとともに、被処理基板4と結像光学系7との位置関係を調整することが容易である。

## 【0040】

なお、上述の各実施形態では、集光発散素子 3 は全体的に正弦波形状の屈折面 1 3 a を有するが、この正弦波形状の屈折面 1 3 a は連続的な曲面形状に形成されていてもよいし、あるいは段差形状に形成されていてもよい。図 9 は、集光発散素子の正弦波形状の屈折面を段差形状に形成した場合に位相シフトマスク上で得られる凹型パターンの光強度分布に関するシミュレーション結果を示す図である。

#### 【 0 0 4 1 】

このシミュレーションでは、集光発散素子 3 の正弦波形状の屈折面 3 a を、位相差が 22.5 度～180 度に相当する 8 レベル段差で近似している。また、照明系 2 の開口数を 0.025 に設定し、集光発散素子 3 から 40  $\mu$ m だけ間隔を隔てて配置された位相シフトマスク 1 上における光強度分布を計算により求めている。図 9 に示すように、集光発散素子 3 の正弦波形状の屈折面 3 a を正弦波形状に多段近似しても、位相シフト部において光強度が最も小さく且つその周囲に向かって光強度が増加する凹型パターンの光強度分布が得られることがわかる。

#### 【 0 0 4 2 】

なお、連続的な曲面やその多段近似に限定されることなく、位相差にして 0 ～  $2\pi$  の範囲を折り返した「キノフォーム」として集光発散素子 3 を構成することもできる。また、集光発散素子 3 に屈折面を付与することなく、光学材料の屈折率分布によりその集光発散作用を実現してもよい。この場合、光強度により屈折率に変調されるフォトリソグラフィや、ガラスのイオン交換などの従来技術を使用することができる。また、ホログラムもしくは回折光学素子を用いて、集光発散素子 3 と等価な光変換作用を実現してもよい。

#### 【 0 0 4 3 】

また、上述の各実施形態では、集光発散素子 3 の屈折面 1 3 a が x 方向に沿って一次的に屈折機能を有するように形成されているが、これに限定されることなく、x 方向および y 方向に沿って二次元的に屈折機能を有するように設定することもできる。この場合、集光発散素子 3 の作用により位相シフトマスク 1 上に形成される凹型パターンの光強度分布では、x z 平面および y z 平面の双方において同様の凹型のプロファイルを有することになる。

## 【 0 0 4 4 】

さらに、上述の各実施形態では、位相シフトマスク 1 が、 $0$ 、 $\pi/2$ 、 $\pi$ 、 $3\pi/2$  の位相に対応する 4 つの矩形状の領域から構成されているが、これに限定されることなく、位相シフトマスクについて様々な変形例が可能である。たとえば、3 以上の位相シフト線からなる交点（位相シフト部）を有し、この交点を中心とする円形領域の複素透過率の積分値がほぼ 0 であるような位相シフトマスクを用いることができる。また、図 10 に示すように、位相シフト部に対応する円形状の段差を有し、この円形状の段差部分の透過光とその周囲の透過光との位相差が  $\pi$  になるように設定された位相シフトマスクを用いることもできる。

## 【 0 0 4 5 】

ところで、図 6 を再び参照すると、被処理基板 4 の半導体膜（多結晶半導体膜または前記非晶質半導体膜）に照射される光強度分布は、位相シフトマスク 1 の位相シフト部に対応する点において光強度の最も小さい逆ピークパターン領域と、この逆ピークパターン領域から周囲に向かって光強度が増加する凹型パターン領域とを有する。そして、この 2 段逆ピークパターンの光強度分布は、逆ピークパターン領域と凹型パターン領域との間において周囲に向かって傾きが減じる変曲点を有する。

## 【 0 0 4 6 】

この場合、逆ピークパターンの光強度分布において傾きの大きな位置に結晶核は発生するが、結晶核の内部は多結晶になり、その周囲に所望の単結晶が形成される。したがって、逆ピークパターン領域と凹型パターン領域との間において傾きが減じる変曲点が存在しないような光強度分布を被処理基板 4 の半導体膜に照射しても、結晶核の発生位置が外側になり、結晶化する領域の面積が狭くなってしまう。なお、光強度分布は設計の段階でも計算できるが、実際の被処理面（被露光面）での光強度分布を観察して確認しておくことが望ましい。そのためには、被処理面を光学系で拡大し、CCD などの撮像素子で入力すれば良い。使用光が紫外線の場合は、光学系が制約を受けるため、被処理面に蛍光板を設けて可視光に変換しても良い。

## 【 0 0 4 7 】

また、上述の実施形態では、光変換素子としての集光発散素子 3 と位相シフトマスク 1 とが個別の光学部材として形成されているが、これに限定されることなく、集光発散素子 3 と位相シフトマスク 1 とを一体的に形成することもできる。この場合、装置に取り付ける際に集光発散素子 3 および位相シフトマスク 1 をそれぞれ位置合わせする必要がなく、一体化された 1 つの光学部材として集光発散素子 3 と位相シフトマスク 1 とを装置に対して精度良く取り付けることができる。

#### 【 0 0 4 8 】

なお、一体的に形成された集光発散素子 3 と位相シフトマスク 1 とは、光の入射方向から順に、集光発散素子 3 の入射面、集光発散素子 3 と位相シフトマスク 1 との界面、および位相シフトマスク 1 の位相シフト面を有することが好ましい。このように、位相シフト面よりも被処理基板 4 側にガラスなどの層構造がない構成を採ることにより、第 1 実施形態において位相シフト面と被処理基板 4 との距離を十分に接近させて良好な結晶化を行うことができる。

#### 【 0 0 4 9 】

また、第 2 実施形態および第 3 実施形態においては、特に逆ピークパターンの光強度分布を正確に形成するために高解像度を要するが、位相シフト面よりも被処理基板 4 側にガラスなどの層構造がない構成を採ることにより、不要な収差の発生を回避することができるので有利である。以下、一体的に形成された集光発散素子 3 と位相シフトマスク 1 との製造方法について簡単に説明する。

#### 【 0 0 5 0 】

図 1 1 は、一体的に形成された集光発散素子 3 と位相シフトマスク 1 との製造方法について説明する図である。図 1 1 を参照すると、たとえば屈折率が 1. 5 0 8 4 1 の石英基板 4 0 にレジスト 4 1 を塗布し、電子線描画および現像を行うことにより、レジストパターン 4 1 a が得られる。次いで、このレジストパターン 4 1 a をマスクとしてドライエッチングを行い、さらにレジスト除去を行うことにより、石英基板 4 0 の表面がエッチング加工される。そして、レジスト塗布からレジスト除去までの工程を繰り返すことにより、石英基板 4 0 の表面において全体的に正弦波形状の屈折面（たとえば深さ 0. 1 2 4  $\mu$  m）4 0 a が形成さ

れる。

#### 【 0 0 5 1 】

次いで、石英基板 4 0 の正弦波形状の屈折面 4 0 a に、たとえば屈折率が 2.3 程度の  $\text{Si}_x\text{N}_y$  (高屈折率材料) からなり  $3\ \mu\text{m}$  の厚さを有する高屈折率材料膜 4 2 を CVD 法により形成する。そして、たとえば CMP (Chemical Mechanical Polishing) の手法により、高屈折率材料膜 4 2 の表面を平坦化する。次いで、平坦化された高屈折率材料膜 4 2 の表面に、たとえば  $40\ \mu\text{m}$  の厚さを有する有機 SOG 膜 (スピンオンガラス、たとえばアルコキシシランをアルキル基で置換したもの) 4 3 を形成する。

#### 【 0 0 5 2 】

さらに、有機 SOG 膜 4 3 の表面にレジスト 4 4 を塗布し、電子線描画および現像を行うことにより、レジストパターン 4 4 a が得られる。次いで、このレジストパターン 4 4 a をマスクとしてドライエッチングを行い、さらにレジスト除去を行うことにより、たとえば  $0.248\ \mu\text{m}$  の深さを有する位相シフト面 4 5 が形成される。こうして、集光発散素子 3 を構成する石英基板 4 0 と、位相シフトマスク 1 を構成する高屈折率材料膜 4 2 および有機 SOG 膜 4 3 とが一体的に形成される。ここで、正弦波形状の屈折面 4 0 a は、集光発散素子 3 と位相シフトマスク 1 との界面を構成することになる。

#### 【 0 0 5 3 】

図 1 2 は、各実施形態の結晶化装置を用いて電子デバイスを作製する工程を示す工程断面図である。図 1 2 (a) に示すように、絶縁基板 2 0 (例えば、アルカリガラス、石英ガラス、プラスチック、ポリイミドなど) の上に、下地膜 2 1 (例えば、膜厚  $50\ \text{nm}$  の  $\text{SiN}$  および膜厚  $100\ \text{nm}$  の  $\text{SiO}_2$  積層膜など) および非晶質半導体膜 2 2 (例えば、膜厚  $50\ \text{nm} \sim 200\ \text{nm}$  程度の  $\text{Si}$ ,  $\text{Ge}$ ,  $\text{SiGe}$  など) を、化学気相成長法やスパッタ法などを用いて成膜することにより、被処理基板 4 を準備する。そして、各実施形態の結晶化装置を用いて、非晶質半導体膜 2 2 の表面の一部もしくは全部に、レーザ光 2 3 (例えば、 $\text{KrF}$  エキシマレーザ光や  $\text{XeCl}$  エキシマレーザ光など) を照射する。

#### 【 0 0 5 4 】

こうして、図 1 2 (b) に示すように、従来の結晶化装置を用いて生成された多結晶半導体膜に比べて大粒径の結晶を有する多結晶半導体膜または単結晶化半導体膜 2 4 が生成される。次に、図 1 2 (c) に示すように、フォトリソグラフィ技術を用いて多結晶半導体膜または単結晶化半導体膜 2 4 を島状の半導体膜 2 5 に加工し、ゲート絶縁膜 2 6 として膜厚 2 0 n m ~ 1 0 0 n m の  $\text{SiO}_2$  膜を化学気相成長法やスパッタ法などを用いて成膜する。さらに、図 1 2 (d) に示すように、ゲート電極 2 7 (例えば、シリサイドや MoW など) を形成し、ゲート電極 2 7 をマスクにして不純物イオン 2 8 (N チャネルトランジスタの場合にはリン、P チャネルトランジスタの場合にはホウ素) を注入する。その後、窒素雰囲気下でアニール処理 (例えば、4 5 0 ° C で 1 時間) を行い、不純物を活性化させる。

#### 【0 0 5 5】

次に、図 1 2 (e) に示すように、層間絶縁膜 2 9 を成膜してコンタクト穴をあけ、チャンネル 3 0 でつながるソース 3 1 およびドレイン 3 2 に接続するソース電極 3 3 およびドレイン電極 3 4 を形成する。このとき、図 1 2 (a) および (b) に示す工程において生成された多結晶半導体膜または単結晶化半導体膜 2 4 の大粒径結晶の位置に合わせて、チャンネル 3 0 を形成する。以上の工程により、多結晶トランジスタまたは単結晶化半導体トランジスタを形成することができる。こうして製造された多結晶トランジスタまたは単結晶化トランジスタは、液晶ディスプレイや EL (エレクトロルミネッセンス) ディスプレイなどの駆動回路や、メモリ (SRAM や DRAM) や CPU などの集積回路などに適用可能である。

#### 【0 0 5 6】

##### 【発明の効果】

以上説明したように、本発明では、集光発散素子と位相シフトマスクとの協働作用により 2 段逆ピークパターンの光強度分布が被処理基板の半導体膜上に形成されるので、結晶核からの十分なラテラル成長を実現して、大粒径の結晶化半導体膜を生成することができる。

##### 【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の第 1 実施形態にかかる結晶化装置の構成を概略的に示す図である。

【図 2】

位相シフトマスクおよび集光発散素子の基本単位部分の構成を概略的に示す図である。

【図 3】

位相シフトマスクがその基本単位部分を二次元的に配置することにより構成されている様子を示す図である。

【図 4】

位相シフトマスクの作用を説明する図である。

【図 5】

集光発散素子の作用を説明する図である。

【図 6】

集光発散素子と位相シフトマスクとの協働作用により被処理基板上で得られる光強度分布を説明する図である。

【図 7】

本発明の第 2 実施形態にかかる結晶化装置の構成を概略的に示す図である。

【図 8】

本発明の第 3 実施形態にかかる結晶化装置の構成を概略的に示す図である。

【図 9】

集光発散素子の正弦波形状の屈折面を段差形状に形成した場合に位相シフトマスク上で得られる凹型パターンの光強度分布に関するシミュレーション結果を示す図である。

【図 10】

位相シフトマスクの変形例を示す図である。

【図 11】

一体的に形成された集光発散素子と位相シフトマスクとの製造方法について説明する図である。

【図 12】



各実施形態の結晶化装置を用いて電子デバイスを作製する工程を示す工程断面図である。

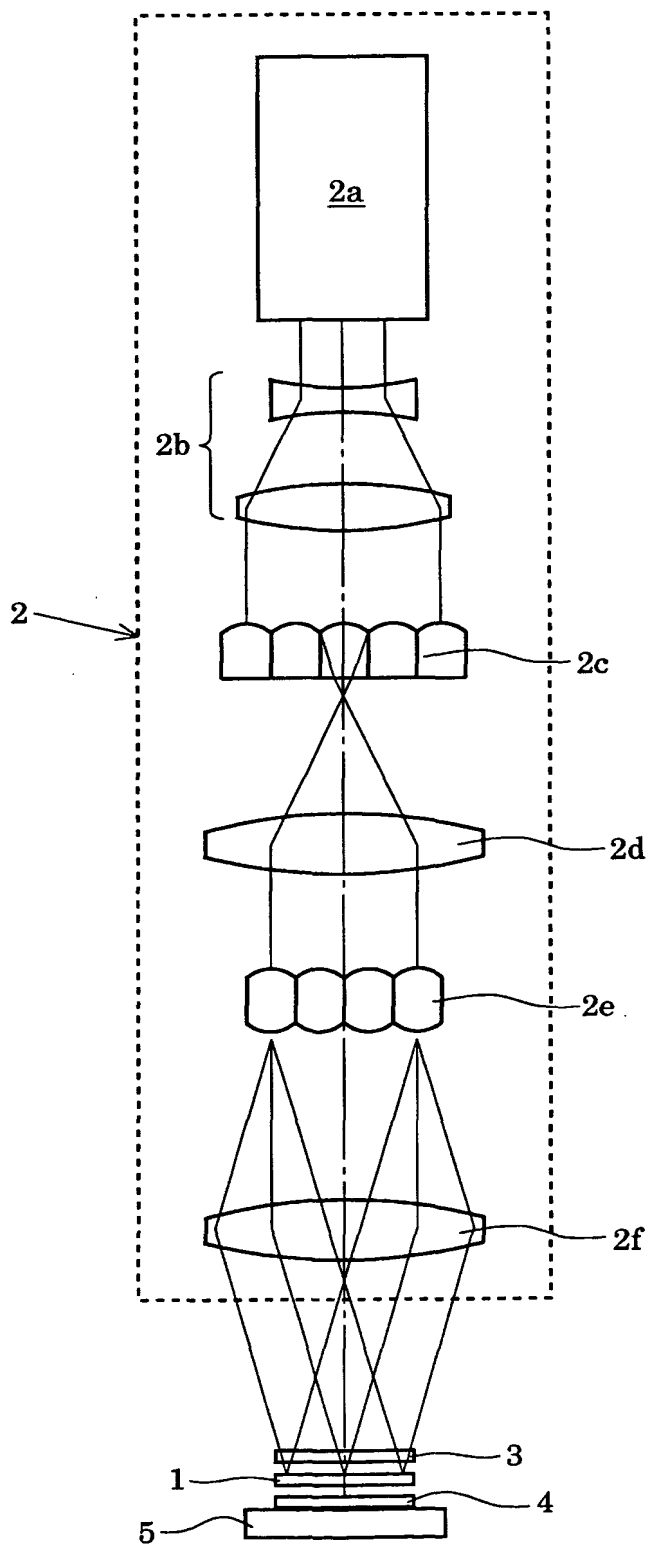
【符号の説明】

- 1 位相シフトマスク
- 2 照明系
  - 2 a K r Fエキシマレーザー光源
  - 2 b ビームエキスパンダ
  - 2 c, 2 e フライアイレンズ
  - 2 d, 2 f コンデンサー光学系
- 3 集光発散素子
- 4 被処理基板
- 5 基板ステージ
- 6, 7 結像光学系
  - 1 1 位相シフトマスクの基本単位部分
  - 1 3 集光発散素子の基本単位部分

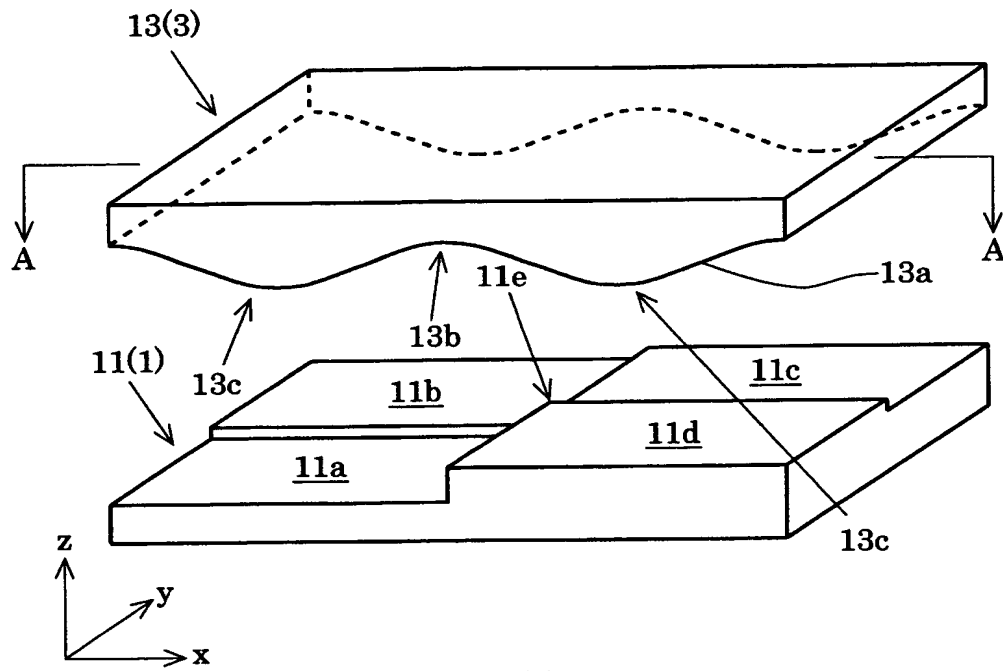
【書類名】

図面

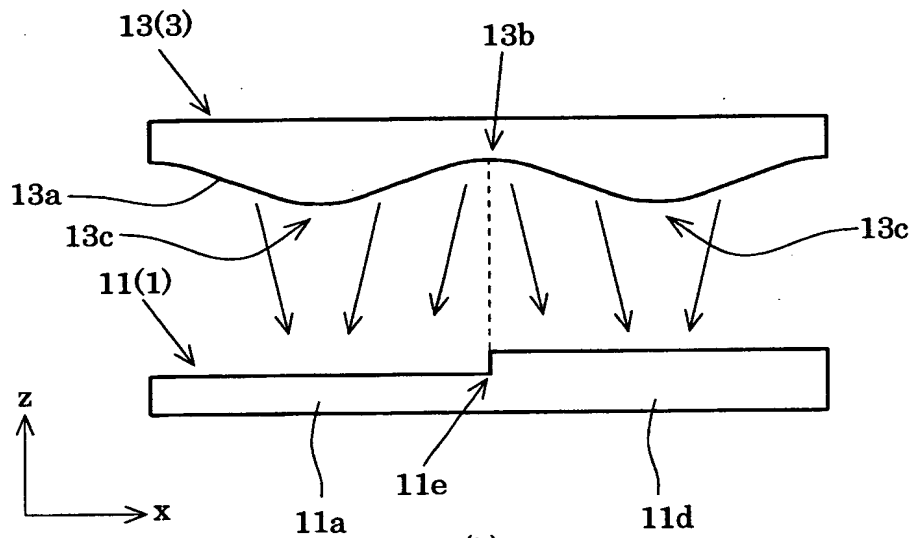
【図1】



【図 2】

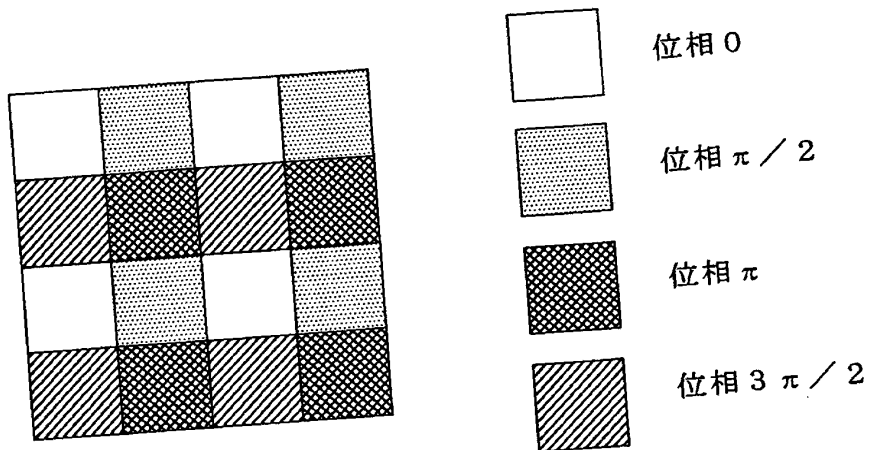


(a)

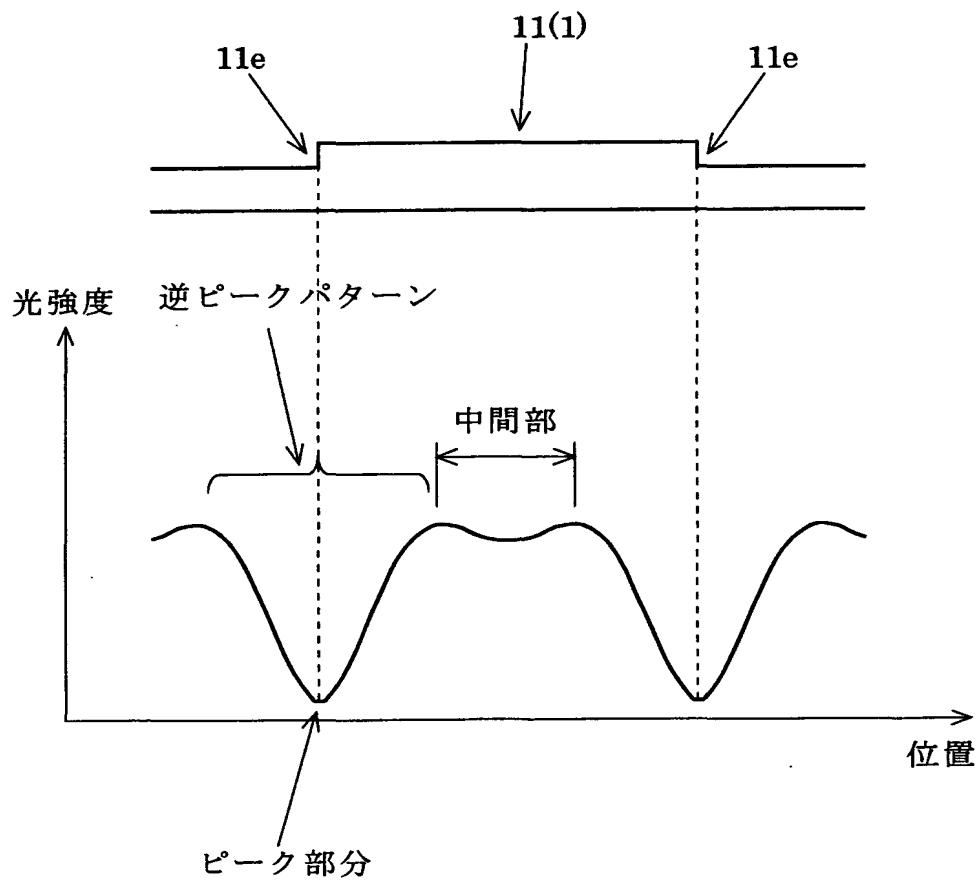


(b)

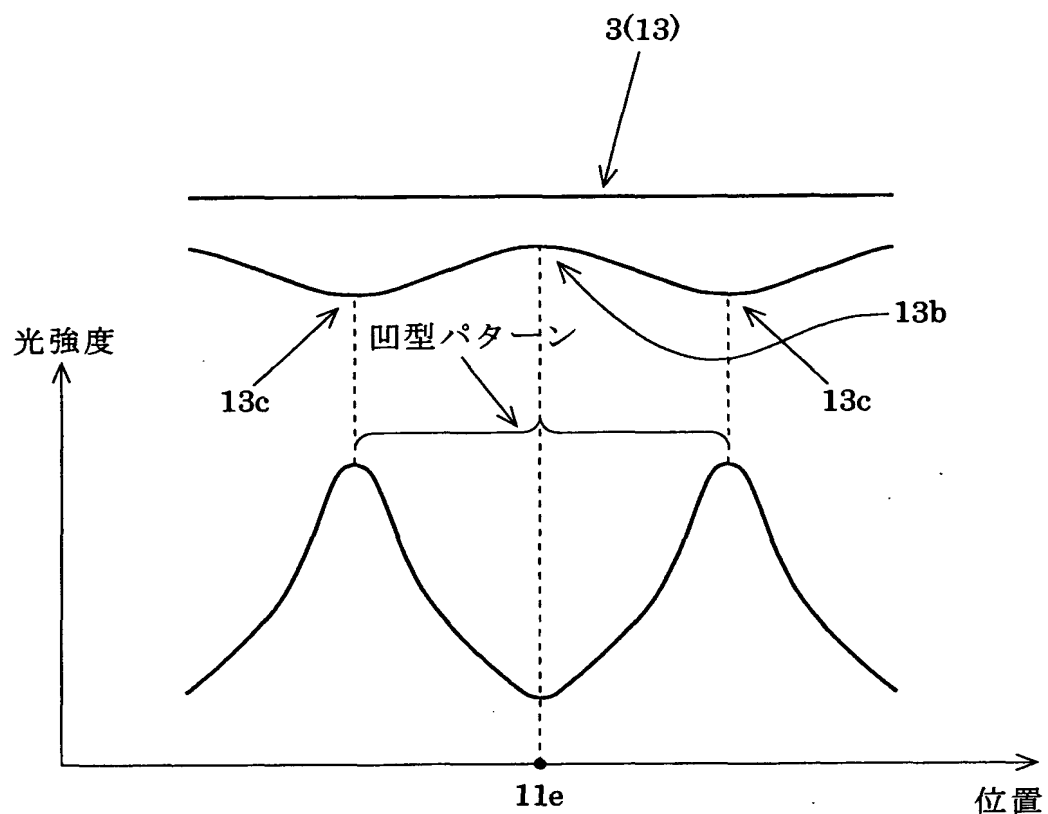
【図3】



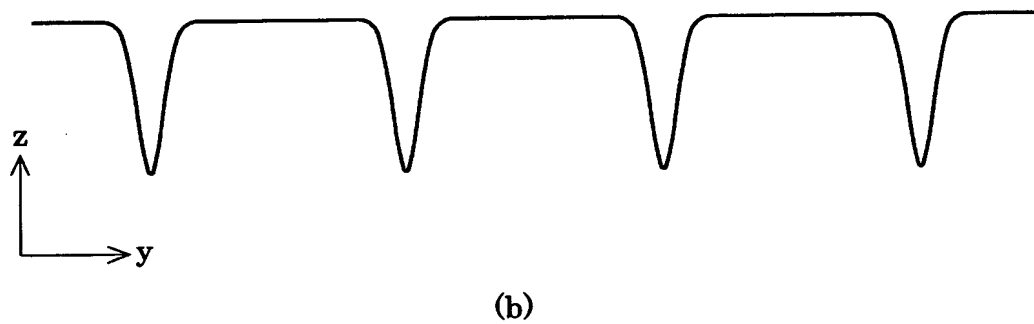
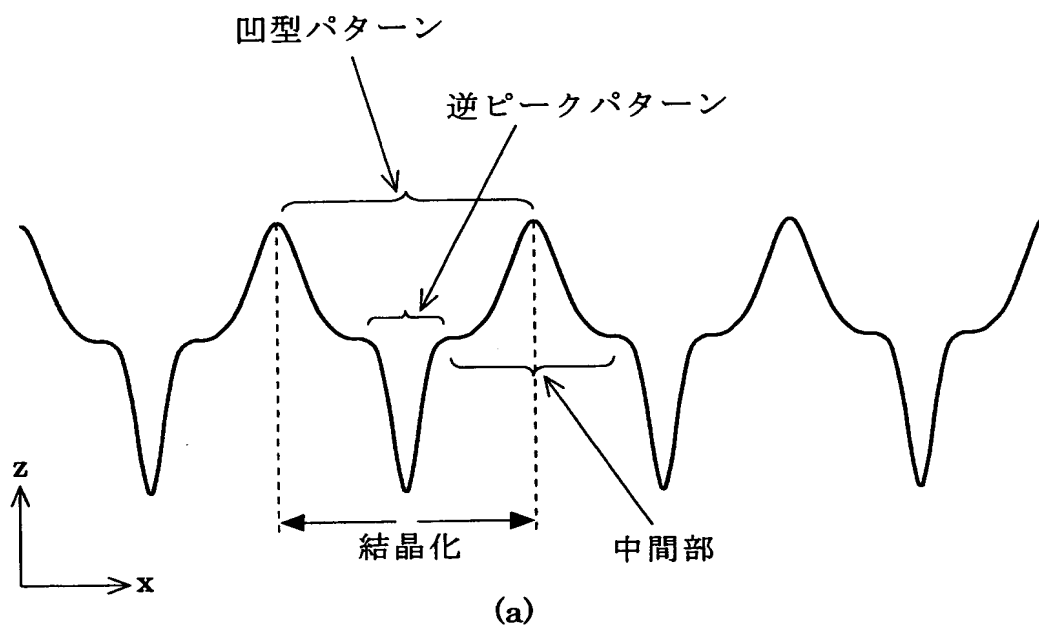
【図 4】



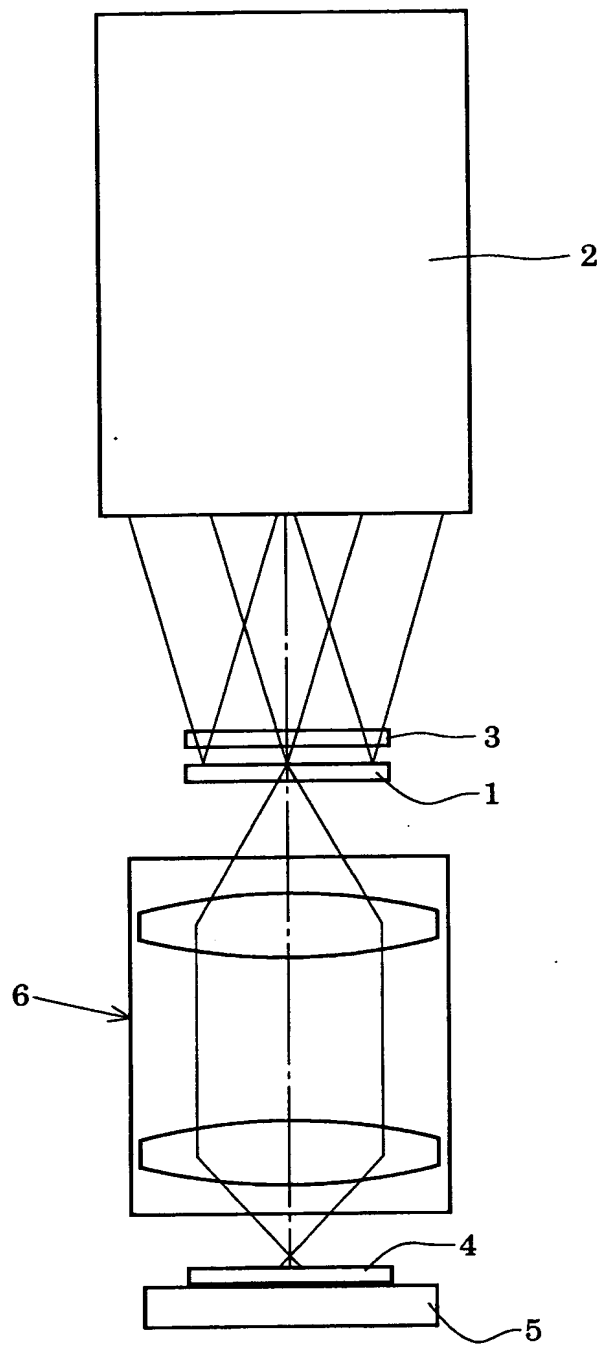
【図 5】



【図6】

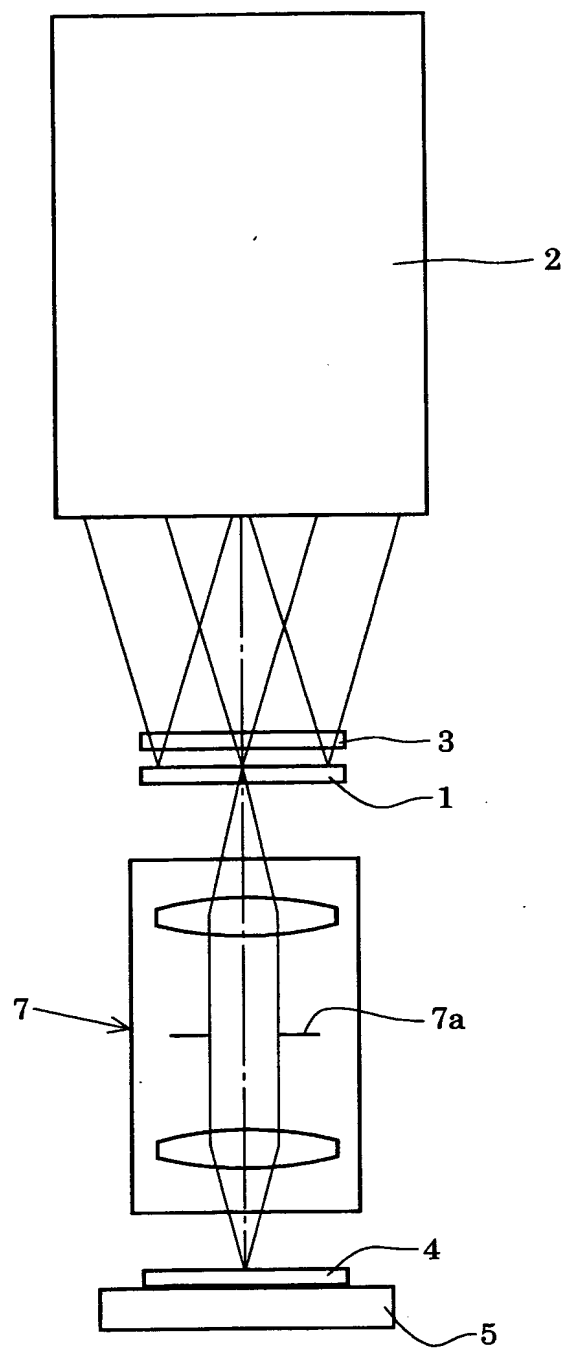


【図 7】

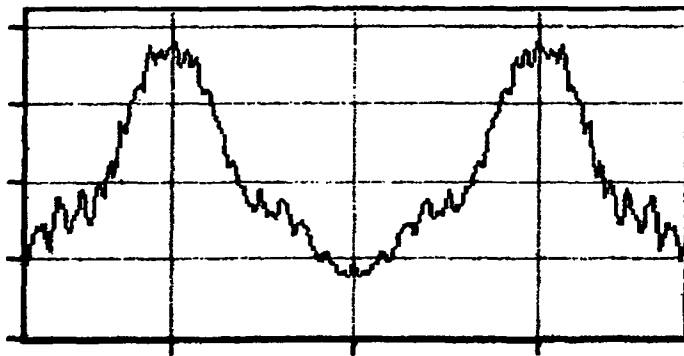




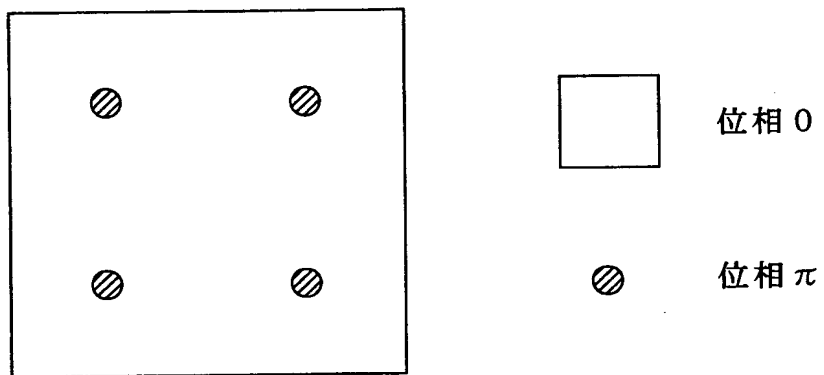
【図 8】



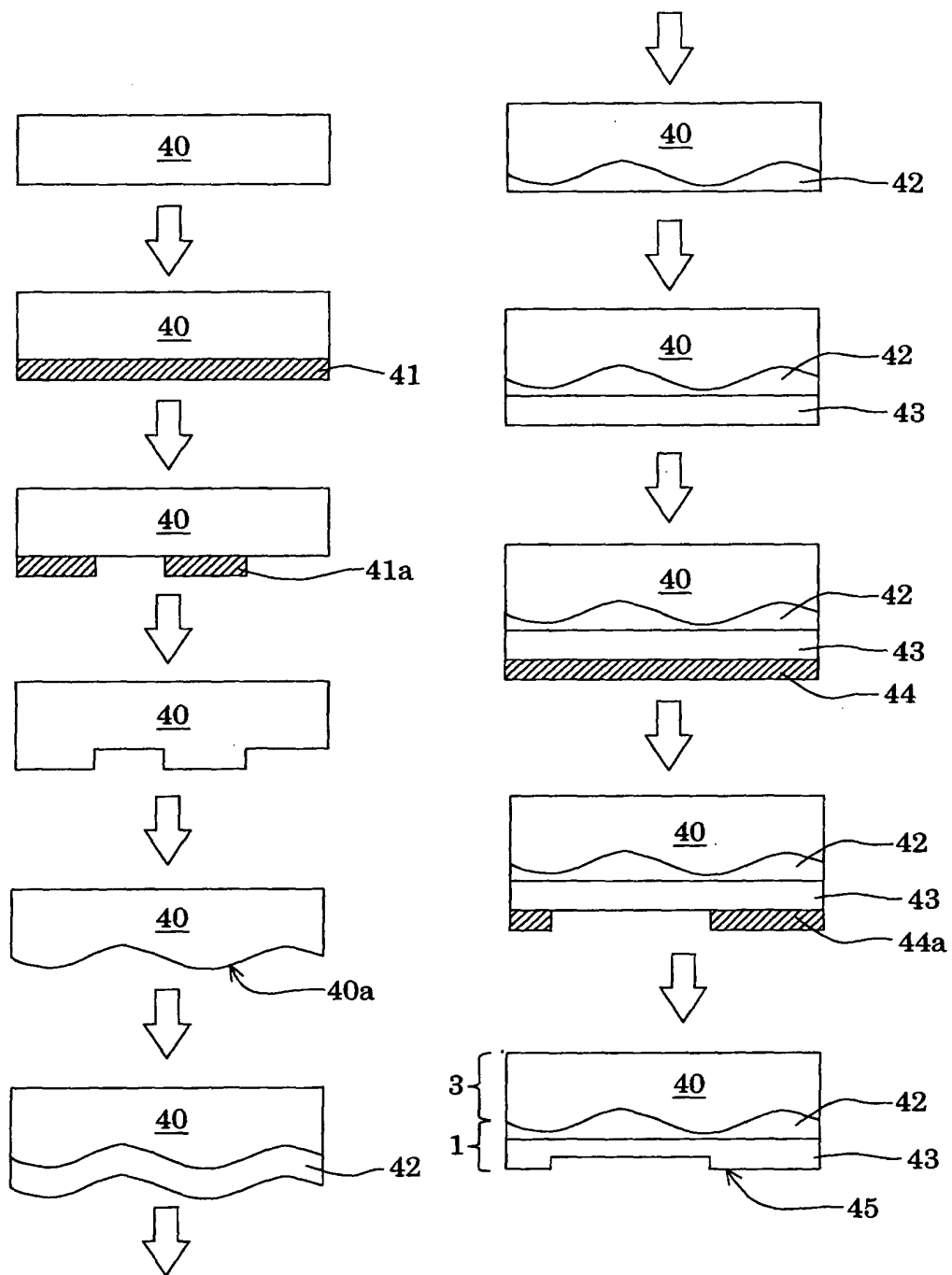
【図 9】



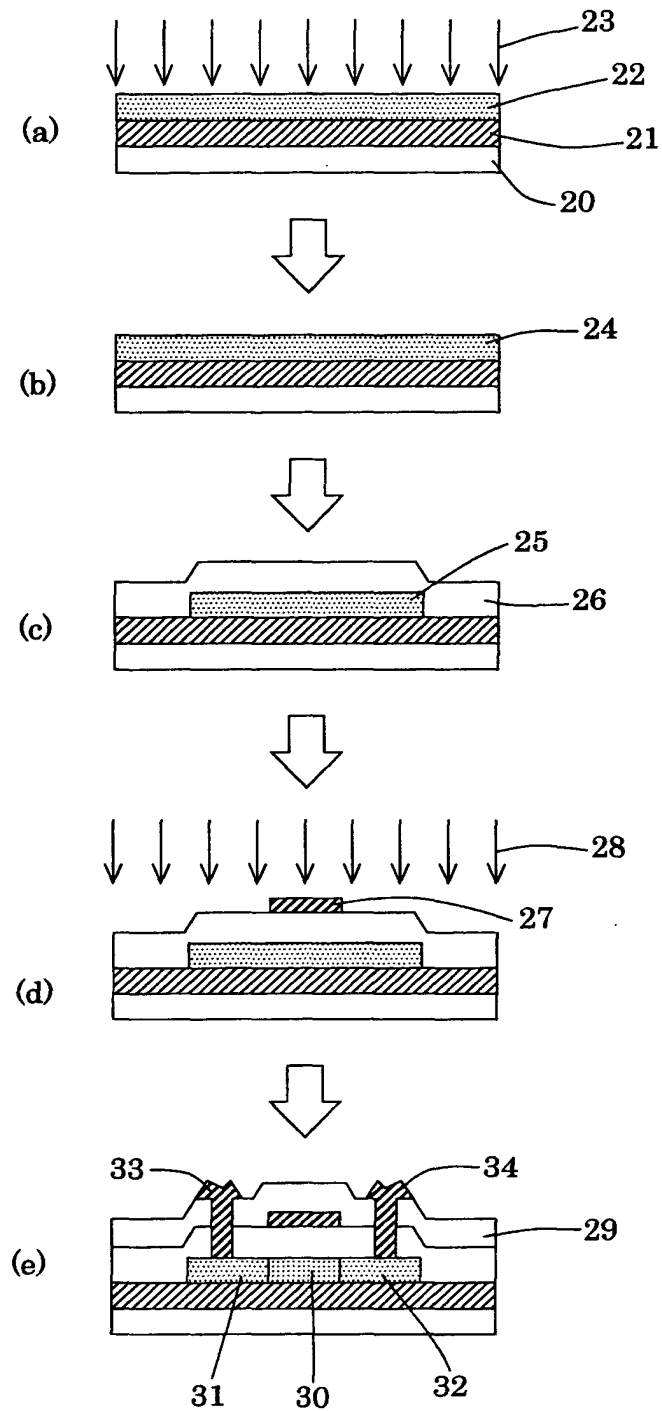
【図 1 0】



【図 11】



【図 1 2】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 結晶核からの十分なラテラル成長を実現して大粒径の結晶化半導体膜を生成することのできる結晶化装置。

【解決手段】 位相シフトマスク（１）を照明する照明系（２）を備え、位相シフトマスクの位相シフト部に対応する点において光強度の最も小さい逆ピークパターンの光強度分布を有する光を非晶質半導体膜（４）に照射して結晶化半導体膜を生成する結晶化装置。照明系と位相シフトマスクとの間の光路中に集光発散素子（３）が配置されている。集光発散素子は、照明系から供給された光を、位相シフト部またはその近傍において光強度が最も小さく且つその周囲に向かって光強度が増加する凹型パターンの光強度分布を有する光に変換して位相シフトマスクに照射する。

【選択図】 図 1

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 2 - 1 8 8 8 4 5	
受付番号	5 0 2 0 0 9 4 6 4 7 2	
書類名	特許願	
担当官	第八担当上席	0 0 9 7
作成日	平成 1 4 年 7 月 1 日	

< 認定情報・付加情報 >

【提出日】	平成14年 6月28日
-------	-------------

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [501286657]

1. 変更年月日 2001年 7月18日

[変更理由] 新規登録

住 所 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地

氏 名 株式会社 液晶先端技術開発センター